

possible to analyze the effects of the proposed measures facing flood events.

Keywords: Open Space Systems. Sustainable Urban Drainage. Manguê Canal Watershed. Maracanã River.

1 INTRODUÇÃO

56 Na atualidade, um dos principais desafios das cidades é o problema das cheias urbanas, agravado pelo próprio processo de urbanização. Os prejuízos causados são inúmeros, acumulando perdas econômicas e sociais diversas e interferindo nos setores de transporte, saneamento e saúde pública, por exemplo. Pode-se ressaltar os danos em infraestrutura e nas habitações, a degradação do ambiente natural e a desvalorização do ambiente construído, a propagação de doenças de veiculação hídrica, o empobrecimento da população com perdas sucessivas, entre outros, conforme destacado por Miguez *et al.* (2016). A grande responsável pelo estado caótico do controle de enchentes nas áreas urbanas brasileiras é a falta de uma visão sistêmica no planejamento da macrodrenagem (CANHOLI, 2015).

Desta forma, como maneira de mitigação dos impactos das inundações urbanas, a visão tradicional do projeto de drenagem vem sendo modificada nas últimas décadas por uma abordagem integrada de manejo sustentável das águas pluviais e planejamento do espaço urbano. A perspectiva de incorporar conceitos de sustentabilidade ambiental no processo de repensar o crescimento da cidade abre um conjunto de oportunidades a serem exploradas como soluções integradas em um contexto multidisciplinar. A conjugação das ações nas áreas urbanas, tendo o controle de uso do solo urbano como pano de fundo, e no corredor fluvial, com foco no curso d'água como síntese do território, combinam esforços no caminho de uma construção mais sustentável para o funcionamento das cidades, tomando a drenagem como estruturante da paisagem.

Os sistemas de espaços livres surgem, então, como oportunidades de integração do espaço urbano. Conforme ressaltado por

Veról *et al.* (2018), os sistemas de espaços livres podem ser utilizados para suportar soluções de drenagem e para organizar o crescimento urbano, permitindo a conservação de áreas verdes e oferecendo volumes para o armazenamento temporário de água. Por outro lado, os cursos d'água que definem o sistema de drenagem principal podem ser conjugados com o sistema de espaços livres, oferecendo corredores que unem áreas verdes fragmentadas, mantendo seus fluxos ecológicos em um sistema ambiental integrado.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo ressaltar a importância dos sistemas de espaços livres como atores da integração do espaço urbano, sendo aliados no armazenamento de volumes de cheias urbanas a partir de uma análise sistêmica da bacia hidrográfica. Para isso, busca-se exemplificar intervenções de drenagem urbana sustentável e projetos multifuncionais em um trecho de rio.

2 SISTEMAS DE ESPAÇOS LIVRES

Lynch (1960) trata os espaços livres como espaços abertos em contraposição aos espaços fechados das edificações. Magnoli (1982), por sua vez, define os espaços livres urbanos como espaços livres de edificação, ou seja, quintais, jardins públicos ou privados, ruas, avenidas, praças, parques, rios, florestas, mangues e praias urbanas ou simples vazios urbanos. Macedo *et al.* (2007) destacam que os sistemas de espaços livres apresentam relações de conectividade e complementariedade, mesmo que não tenham sido planejados ou implantados como tal.

Os espaços livres de edificação podem ser classificados em diferentes categorias. Segundo classificação utilizada pelo grupo

de pesquisa Sistemas de Espaços Livres (SEL/RJ) do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da UFRJ (PROARQ-FAU/UFRJ), os espaços livres de edificação podem ser, por exemplo, de caráter ambiental, como áreas de proteção ambiental e parques nacionais, de caráter de permanência, como praças, parques e jardins, e de caráter de circulação, como vias, calçadas e ciclovias.

Conforme ressaltado por Schlee *et al.* (2009), os espaços livres urbanos constituem um sistema complexo, inter-relacionado com outros sistemas urbanos que podem se justapor ao sistema de espaços livres ou se sobrepor, total ou parcialmente, enquanto sistemas de ações. Como exemplos da multiplicidade de papéis, estão a circulação e a drenagem urbanas, as atividades de lazer, conforto, preservação, conservação e requalificação ambiental. Além disso, é importante destacar que os espaços livres se apresentam como instrumentos de estímulo a uma maior apropriação do espaço público pela população. Magnoli (2006), por exemplo, reflete sobre a condição desses espaços como elementos integradores de convívio. Macedo *et al.* (2012) destacam os espaços livres como uma das principais infraestruturas urbanas, já que neles e por eles grande parte da vida cotidiana tem lugar, sendo principais palcos dos conflitos e acordos da sociedade.

3 DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL

Com o passar dos anos, o conceito higienista de drenagem urbana, que previa a captação, a condução e o descarregamento das águas pluviais, veio sendo substituído pelo conceito de drenagem urbana sustentável, que acrescenta as ações de armazenamento e infiltração, quando possível. Segundo Pompêo (2000), a perspectiva da sustentabilidade associada à drenagem urbana introduz uma nova abordagem para as ações, baseada no reconhecimento da complexidade das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade.

A partir dessa abordagem, o problema das inundações urbanas passa a ser avaliado, então, de forma mais sistêmica. A busca por restaurar algumas características próximas ao escoamento natural se torna uma questão mais importante. Como exemplos de

atuação, introduzindo funções de armazenamento e infiltração, podem ser citados as bacias de retenção, os jardins de chuva e os pavimentos permeáveis, descritos a seguir, entre outros (ZHOU, 2014; WANG *et al.*, 2017). Tais medidas podem, ainda, integrar o espaço urbano de forma harmônica, configurando áreas de lazer em tempo seco e, assim, assumir características multifuncionais, com o bônus de melhoria do ambiente em que ela se insere (MIGUEZ *et al.*, 2016).

PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

A utilização de pavimentos permeáveis (Figura 1) permite a infiltração, por meio de uma superfície permeável, para um reservatório localizado sob a superfície do terreno antes da infiltração, de fato, no solo (URBONAS e STAHLRE, 1993). Como sua resistência é baixa para suportar o tráfego pesado (DUARTE, 2003), é mais comum a sua aplicação em estacionamentos e ruas com baixo tráfego (JHA *et al.*, 2012). Os revestimentos permeáveis aparecem, então, como uma alternativa ao uso de superfícies impermeáveis tradicionais, como asfalto e concreto, utilizadas em calçadas, estacionamentos, quadras esportivas e até mesmo no interior dos lotes. Como essas superfícies ocupam grande parte das áreas urbanas, o uso de pavimentos permeáveis faz com que sirvam para a infiltração da água das chuvas e, conseqüentemente, atuem na diminuição das enchentes (MIGUEZ *et al.*, 2016).

Segundo Uribonas e Stahlre (1993) e Araújo *et al.* (2000), os pavimentos permeáveis podem ser de asfalto poroso, de concreto poroso ou de blocos de concreto vazado preenchido com material granular. É importante mencionar que a utilização desses pavimentos é restrita à dependência do nível do lençol freático, do tipo de solo e de manutenção.

BACIAS DE RETENÇÃO

De acordo com Miguez *et al.* (2016), as bacias de retenção são reservatórios de armazenamento de curtos períodos, que reduzem as vazões de pico dos hidrogramas das cheias, aumentando

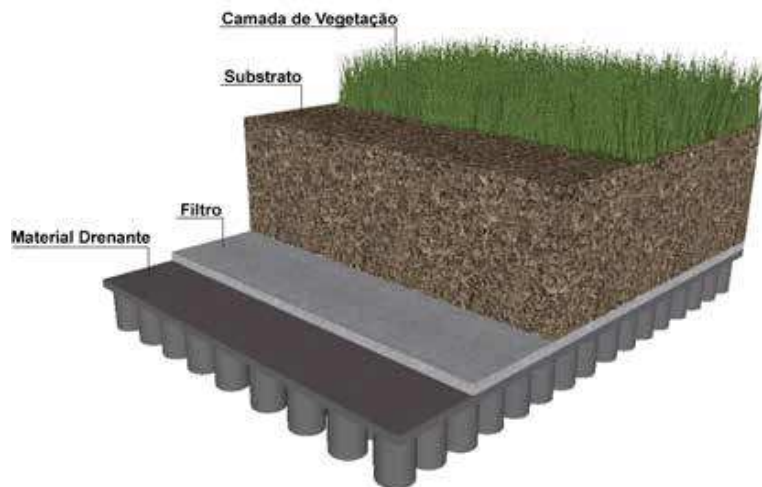


Figura 1: Esquema Típico – Pavimento Permeável
Fonte: Miguez et al., 2018.

58

o seu tempo de base. Geralmente, elas não reduzem o volume do escoamento direto, apenas redistribuem as vazões durante um tempo maior, formando assim um volume útil temporário, com parte do escoamento direto. Podem ser utilizadas para controle da vazão máxima, controle do volume ou ainda para controle de material sólido. Do ponto de vista construtivo, as bacias de retenção podem ser criadas pelo barramento de um rio ou canal, escavando-se uma bacia no solo existente ou por uma combinação de escavação e barramento.

As bacias de retenção permitem soluções integradas com o planejamento urbano, criando assim, projetos multifuncionais. Um exemplo comum é a configuração de praças e quadras esportivas rebaixadas, que em tempo seco proporcionam o lazer e a permanência como usos e em períodos de cheia, funcionam para armazenamento temporário de volumes de cheia. Alguns exemplos

podem ser visualizados na Figura 2.

JARDINS DE CHUVA/SISTEMAS DE BIORRETENÇÃO

Os jardins de chuva, também conhecidos como sistemas de biorretenção, são áreas de jardins com superfície rebaixada em relação às áreas de entorno e com uma preparação do solo com materiais mais permeáveis, como areia. Tal medida retém a água pluvial acumulada nos reservatórios formados pelo rebaixamento dessas áreas, favorecendo a infiltração (Figura 3). Ao atingir a sua capacidade de armazenamento, o volume excedente verte para a rede, seguindo o caminho tradicional (MIGUEZ et al., 2016).

Conforme ressaltado por Righetto (2009), os sistemas de biorretenção têm a vantagem de integrar a paisagem natural da região, sendo recomendáveis em áreas com alto índice de impermeabilização, como estacionamentos, por exemplo. A vegetação, que pode ser de diferentes espécies e tamanhos, é componente fundamental nesse sistema, sendo responsável pela retirada da água e dos poluentes.

4 ESTUDO DE CASO

O presente trabalho tem como objeto de estudo a praça Xavier de Brito, localizada na Tijuca (Figura 4), bairro da Zona Norte do município do Rio de Janeiro, e inserida na bacia hidrográfica do Canal do Mangue (Figura 5). Tal bacia possui área de drenagem igual a 45,4 km² e drena os bairros Tijuca, Grajaú, Vila Isabel, São Cristóvão, Rio Comprido, Maracanã, Santo Cristo e Cidade Nova.

Os principais cursos d'água da bacia hidrográfica do Canal do Mangue são os rios Maracanã, Joana, Trapicheiros, Comprido e Papa-Couve, que possuem suas nascentes no Maciço da Tijuca ou na Serra do Engenho Novo e afluem para o Canal do Mangue que, por sua vez, deságua na Baía de Guanabara.

O relevo da bacia do Canal do Mangue apresenta acentuados desníveis nas regiões oeste e sudoeste, onde está localizado o maciço da Tijuca (Figura 6). Essa região é seguida por topografia



(a) Bacia de detenção aliado a técnicas paisagísticas e uso de lazer em Santiago do Chile



(a) Exemplo de jardim de chuva na via



(b) Bacia de Detenção com Fins Esportivos em Porto Alegre – RS



(b) Exemplo de jardim de chuva na calçada

Figura 2: Bacias de Detenção - Exemplos de paisagens multifuncionais
Fonte: AQUAFLUXUS, 2011.

Figura 3: Exemplos de jardim de chuva
Fonte: ABCP e FCTH, 2013.



Figura 4: Localização da Praça Xavier de Brito - Bairro Tijuca
Fonte: Mapa produzido sobre imagem Google Earth, 2017, por Bruna Battemarco, 2017.

60

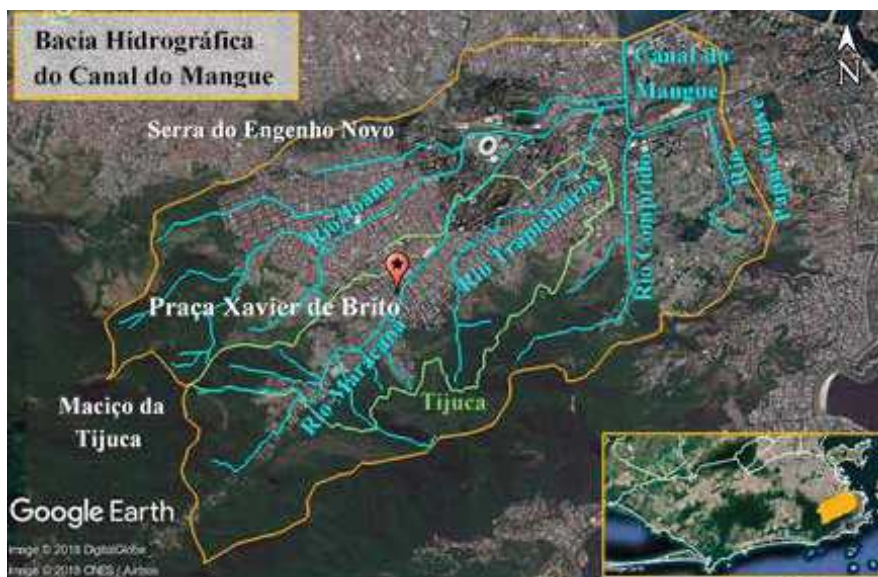


Figura 5: Localização da Praça Xavier de Brito – Bacia Hidrográfica do Canal do Mangue e Hidrografia
Fonte: Mapa produzido sobre imagem Google Earth, 2017, por Bruna Battemarco, 2017.

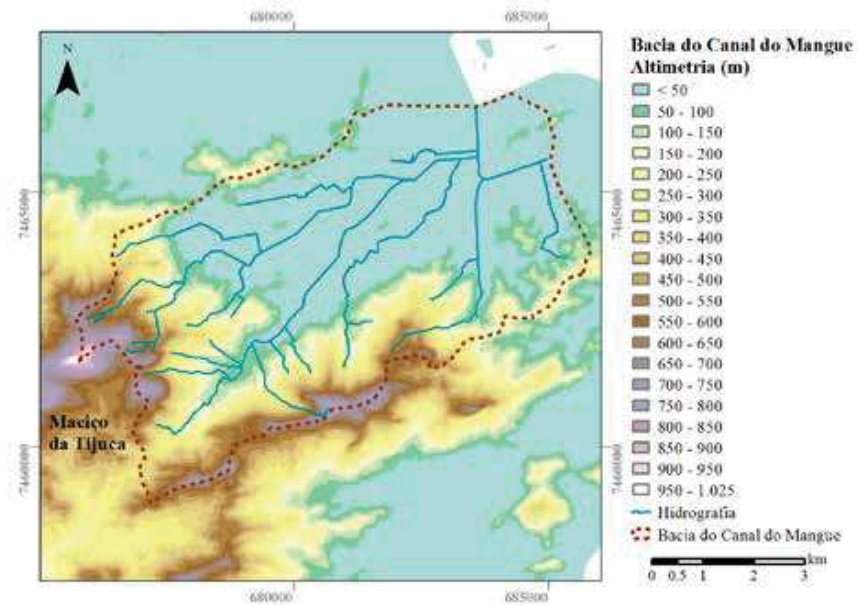


Figura 6: Mapa de Altimetria da Bacia do Canal do Mangue
 Fonte: Mapa produzido com dados do Instituto Pereira Passos, por Lilian Yamamoto, 2018.

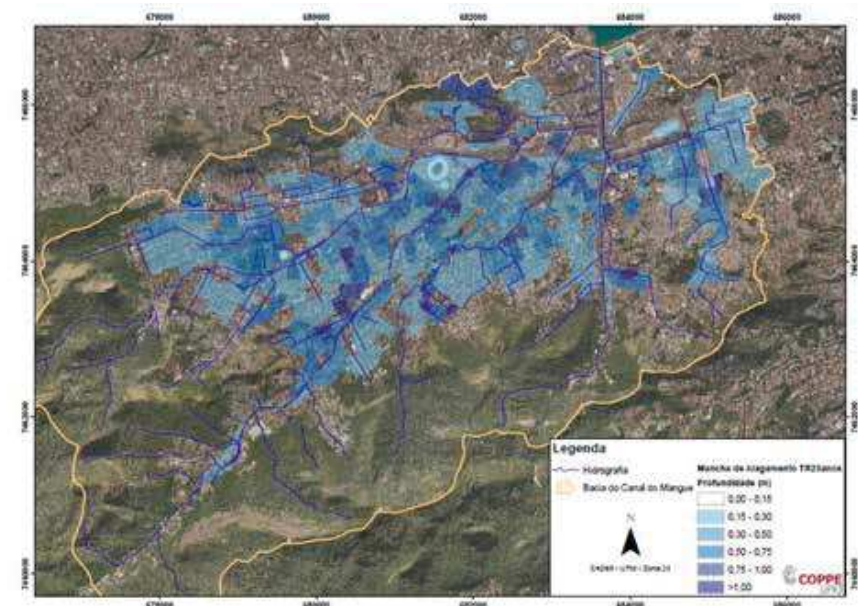


Figura 7: Mancha de Alagamento – Tempo de Recorrência de 25 anos – Sem intervenções na bacia
 Fonte: Rezende, 2018.

menos acidentada, onde se inicia a área urbanizada da bacia, com áreas totalmente planas. Essa configuração topográfica dificulta o escoamento nos canais de macrodrenagem (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2015).

A bacia do Canal do Mangue sofre com os efeitos das inundações desde o século XVIII. Com o aumento da urbanização, as enchentes tornaram-se mais frequentes e danosas durante os séculos XX e XXI. Todo esse histórico impulsionou a demanda por intervenções estruturais tradicionais, com base em conceitos de canalização, para reduzir riscos de inundações. No entanto, o número de grandes inundações continuou crescendo ao longo do tempo, mesmo com as intervenções realizadas. Atualmente, a bacia é alvo de grandes obras de controle de enchentes, com projeto original de cinco grandes reservatórios, além de túnel para restituição do curso do Rio Joana para a sua foz natural. O projeto original foi modificado e, no momento, três reservatórios (Praça da Bandeira, Praça Niterói e Praça Varnhagen) já foram inaugurados. Na Figura 7, é apresentada a mancha de alagamento da bacia do Canal do Mangue para o tempo de recorrência de 25 anos, conforme recomendado pelo Ministério das Cidades para projetos de macrodrenagem, em uma situação anterior ao projeto citado.

5 METODOLOGIA

O processo metodológico do presente trabalho consistiu nas etapas apresentadas a seguir:

Levantamento dos espaços livres de caráter ambiental, de caráter de permanência e de caráter de circulação, para compreensão das características do entorno em diferentes escalas;

Análise das manchas de inundação da bacia hidrográfica que contém a área de estudo selecionada, a fim de reconhecer as áreas afetadas e os pontos mais críticos;

Reconhecimento do entorno do estudo de caso selecionado por meio de visita ao local;

Análise dos dados obtidos para escolha do percurso-piloto, buscando melhorar a relação entre o espaço urbano e o rio, além de conceber soluções sistêmicas para potencializar a efetividade da drenagem urbana local;

Proposição de medidas de drenagem urbana sustentável;

Modelagem matemática com uso da ferramenta MODCEL¹ (MASCARENHAS E MIGUEZ, 2002; MASCARENHAS *et al.*, 2005; MIGUEZ *et al.*, 2017) para análise da resposta da bacia hidrográfica às medidas propostas.

6 O PERCURSO AO LONGO DO RIO MARACANÃ: DA PRAÇA PROFESSOR PINHEIRO GUIMARÃES À PRAÇA LAMATINE BABO

A partir do levantamento realizado em cartografia básica (espaços livres de caráter ambiental, de caráter de permanência e de caráter de circulação), buscou-se formalizar o percurso ao longo do Rio Maracanã tendo como centro a Praça Xavier de Brito. Ao colocá-la em foco, é possível perceber no mapa da Figura 7 a presença de alagamentos mais acentuados em suas imediações e a extensão deste comportamento ao longo do rio. Devido à sua proximidade, este rio desempenha papel fundamental na drenagem da praça, bem como também é protagonista na drenagem da bacia como um todo, uma vez que recebe grande parte de seu escoamento.

Diante disso, adotou-se o Rio Maracanã como eixo norteador do projeto no intuito de se estabelecer a integração dos espaços livres, conectando a Praça Xavier de Brito às demais praças adjacentes, formalizando assim o percurso ao longo deste rio. Tal proposta busca melhorar a relação entre o espaço urbano e o rio, além de conceber soluções sistêmicas para potencializar a efetividade da drenagem urbana local. No entanto, é importante desta-

¹ Modelo hidrodinâmico, *quasi*-bidimensional, que simula o padrão de escoamento a partir da divisão da paisagem urbana em células homogêneas, as quais interagem entre si por meio de relações hidráulicas unidimensionais. Como resultado da modelagem, é possível obter a mancha de alagamento da bacia em estudo, oferecendo assim, suporte às decisões de projeto.

car que se trata de um projeto piloto que deve ser replicado para outros rios da bacia do Canal do Mangue, já que, para efetividade na redução das lâminas de alagamento, as soluções devem ser distribuídas na escala da bacia hidrográfica.

Em primeiro instante, optou-se por iniciar o percurso na Praça Professor Pinheiro Guimarães (primeiro espaço livre de permanência a montante) e por terminá-lo na Praça São Charbel (primeiro espaço livre de permanência a jusante). No entanto, devido ao seu pequeno porte e pouca oportunidade de intervenção, decidiu-se por estender o percurso até a Praça Lamartine Babo. Com isso, o percurso escolhido, apresentado na Figura 8, possui comprimento total aproximado de 2,2 km, com ponto de partida na Praça Professor Pinheiro Guimarães e ponto de chegada na Praça Lamartine Babo, seguindo o curso do Rio Maracanã

(totalmente canalizado) pela Avenida Maracanã. O percurso possui quatro pontos de parada - Praça Professor Pinheiro Guimarães, Praça Xavier de Brito, Praça São Charbel e Praça Lamartine Babo – cujas principais características são apresentadas na Tabela 1 e três trechos de caminhada (detalhados na Tabela 2). Também foi definida uma faixa de domínio para as intervenções ao longo do percurso. Para definição da largura da faixa, optou-se por utilizar a legislação vigente para o estado do Rio de Janeiro para a definição de faixas marginais de proteção (FMPs). Desta forma, como a bacia do rio Maracanã atende aos requisitos do Decreto nº 42.356 de 16 de março de 2010 (ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2010) para redução dos limites mínimos fixados pelo Código Florestal (BRASIL, 2012) na definição de FMP, definiu-se uma faixa de domínio de 15m a partir de cada margem do Rio Maracanã ao longo do percurso.






Figura 8: Percurso completo selecionado
Fonte: Mapa produzido por Bruna Battemarco (2017) sobre imagem Google Earth, 2017,

TABELA 1: CARACTERÍSTICAS DOS PONTOS DE PARADA – PRAÇAS

	Informações Gerais	Potencialidades	Fragilidades
64	Praça Professor Pinheiro Guimarães		
	Área: 3540 m ² Abrangência: Local Praça sem equipamentos de ginástica Espaço expansivo	Praça com declividade no sentido do canal. 30% da área total permeável. Localização justaposta ao canal.	Acesso parcial por escadas, comprometimento da acessibilidade. Impedimento ao escoamento em uma das margens do canal.
	Praça Xavier de Brito		
	Área: 10700 m ² Abrangência: Bairro Praça com equipamentos de lazer/ginástica Espaço de recolhimento	Localizada próxima ao canal (aprox. 20m). 80% da área total permeável. Rampas de acesso, favorecimento da acessibilidade.	–
	Praça São Charbel		
	Área: 670 m ² Abrangência: Local Praça sem equipamentos de lazer/ginástica Espaço claustrofóbico	Localizada próxima ao canal (aprox. 10m). Rampas de acesso, favorecimento da acessibilidade.	Semipermeável: área permeável sem manutenção. Elevação da praça em relação ao nível da rua (aprox. 30cm) – Pouco convidativa ao pedestre.
	Praça Lamartine Babo		
	Área: 1390 m ² Abrangência: Local Praça sem equipamentos de lazer/ginástica Espaço expansivo	Semipermeável. Localizada próxima ao canal (aprox. 15m).	–

Fonte: Autor.

Tabela 2: Descrição dos Trechos do Percurso.

<p>Localização – Trecho (Fonte: Mapa produzido sobre imagem Google Earth, 2017, por Bruna Battemarco, 2017)</p>	<p>Características</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Início: Praça Professor Pinheiro Guimarães; • Fim: Praça Xavier de Brito; • Comprimento: 1.100 m; • Trechos com margem direita confinada por residências; • Presença de obstáculos na comunicação entre rio e planície; • Trechos com presença de calçada estreita ao longo da margem esquerda; • Presença de <u>trecho crítico</u> – rio confinado entre os fundos dos espaços edificados; • Presença de trechos sem acesso da população às margens do rio.
	<ul style="list-style-type: none"> • Início: Praça Xavier de Brito; • Fim: Praça São Charbel; • Comprimento: 486 m; • Trecho sem acesso da população às margens do rio; • Calçadas largas, de aproximadamente 2,0m de largura, e impermeáveis.
	<ul style="list-style-type: none"> • Início: Praça São Charbel; • Fim: Praça Lamartine Babo; • Comprimento: 607 m; • Trecho sem acesso da população às margens do rio; • Calçadas largas, de aproximadamente 2,0m de largura, e impermeáveis.

Fonte: Autor.

7 SOLUÇÕES PROPOSTAS: A DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL NO PERCURSO

Após análise do percurso e reconhecimento das fragilidades existentes no que diz respeito à drenagem urbana local, foram propostas algumas soluções de drenagem urbana sustentável. Dentre as medidas propostas, podem-se citar os pavimentos permeáveis, as bacias de retenção e os jardins de chuva. Além destas, também se procurou propor soluções que visassem melhorias aos pedestres e usuários das praças. A seguir, são apresentadas as medidas propostas.

PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

É proposta a substituição do revestimento existente por pavimentação permeável nas calçadas da Praça Professor Pinheiro Guimarães; em alguns locais da Praça Xavier de Brito, como o revestimento do chafariz e as calçadas do entorno, na Praça Lamartine Babo; no grande estacionamento existente no trecho crítico localizado no Trecho 1 e nas calçadas dos Trechos 1, 2 e 3. As fotos da Figura 9 ilustram exemplos de locais selecionados para utilização de pavimento permeável.

66



(a) Praça Professor Pinheiro Guimarães



(b) Chafariz da Praça Xavier de Brito



(c) Estacionamento no Trecho Crítico



(d) Calçada no Trecho 1



(e) Calçada no Trecho 2



(f) Praça Lamartine Babo

Figura 9: Exemplos de locais selecionados para utilização de pavimento permeável
Fonte: Imagem Google Earth, 2017.

BACIAS DE DETENÇÃO

É proposta a configuração de bacias de retenção na Praça Xavier de Brito, a partir do rebaixamento da área destinada aos cães (0,80 m) e dos canteiros dos fundos da praça (0,60 m) e de escalonamento em degraus do chafariz existente (0,40m), e na Praça São Charbel, a partir do rebaixamento de sua área interna (0,50 m). As fotos da Figura 10 ilustram os locais selecionados para configuração de bacias de retenção.



(a) Área destinada aos cães – Praça Xavier de Brito



(b) Canteiro localizado aos fundos da Praça Xavier de Brito



(c) Chafariz da Praça Xavier de Brito



(d) Praça São Charbel

Figura 10: Locais selecionados para configuração de bacias de retenção
Fonte: Autores, 2017.

JARDINS DE CHUVA/SISTEMAS DE BIORRETENÇÃO

É proposta a configuração de jardins de chuva em alguns locais da Praça São Charbel e da Praça Lamartine Babo (entorno). Também são propostos jardins de chuva nas calçadas mais largas (de aproximadamente 2,0m) existentes nos trechos. As fotos da Figura 11 ilustram alguns locais selecionados para a aplicação da proposta.

MELHORIA NA COMUNICAÇÃO ENTRE RIO E PLANÍCIE

Durante a visita ao local e também durante as análises realizadas via *Street View* do *Google Earth*, observou-se a existência de obstáculos que interferem na comunicação entre o rio e sua planície. É proposta, então, a retirada de tais obstáculos, exemplificados na Figura 12.

68

MELHORIA DA CIRCULAÇÃO DE PEDESTRES

Visando a melhoria da circulação de pedestres, é proposta a ampliação de calçadas e/ou consolidação de espaços de permanência, com inserção de bancos, por exemplo, na Praça Professor Pinheiro Guimarães e em alguns trechos específicos ao longo do Trecho 1. As fotos da Figura 13 ilustram alguns locais selecionados para a aplicação da proposta. Também é proposta a revitalização da praça Lamartine Babo, com implantação de equipamentos de lazer/ginástica e criação de espaços cobertos para permanência (com mesas e bancos).



(a) Canteiros Praça São Charbel
Fonte: Autores, 2017.



(b) Entorno da Praça Lamartine Babo
Fonte: Imagem Google Earth, 2017.



(c) Calçadas Largas – Trecho 2
Fonte: Autores, 2017.

Figura 11: Exemplos de locais selecionados para configuração de jardins de chuva



(a) Obstáculo na Praça Professor Pinheiro Guimarães
Fonte: Imagem Google Earth, 2017



(b) Muro existente no Trecho 1
Fonte: Autores, 2017



(c) Obstáculo no Trecho 1
Fonte: Imagem Google Earth, 2017

Figura 12: Exemplos de locais selecionados para intervenção visando melhoria na comunicação do rio e sua planície



Praça Professor Pinheiro Guimarães



Exemplo localizado no Trecho 1

Figura 13: Exemplos de locais selecionados para intervenção visando a melhoria da circulação de pedestres
Fonte: Imagem Google Earth, 2017

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de exemplificar a conjugação das medidas propostas para as calçadas, são apresentadas a Figura 14 e a Figura 15. Na Figura 14, pode ser visualizado um exemplo de projeto em planta para as calçadas mais largas, com mais de 2,0m de largura, existentes nos trechos 2 e 3, com a utilização de pavimentos permeáveis e a constituição dos jardins de chuva. Na Figura 15, por sua vez, é apresentado um esquema tridimensional da solução proposta para as calçadas.

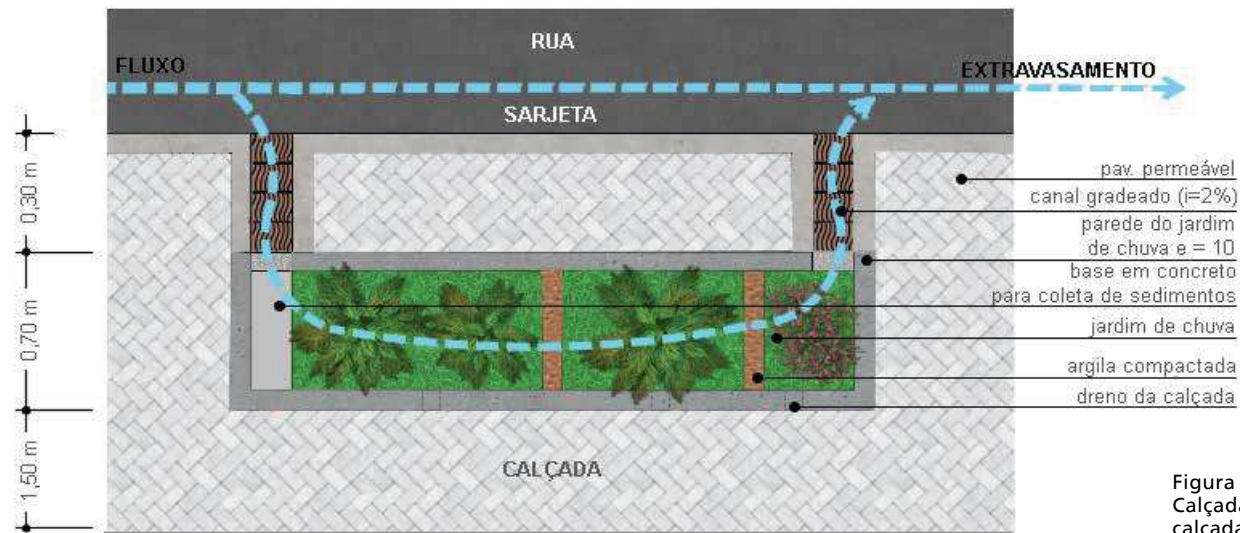


Figura 14: Modelo de Projeto para as Calçadas dos Trechos 2 e 3 - Exemplo para calçadas com 2,50m de largura
Fonte: Adaptado de ABCP e FCTH, 2013.

70



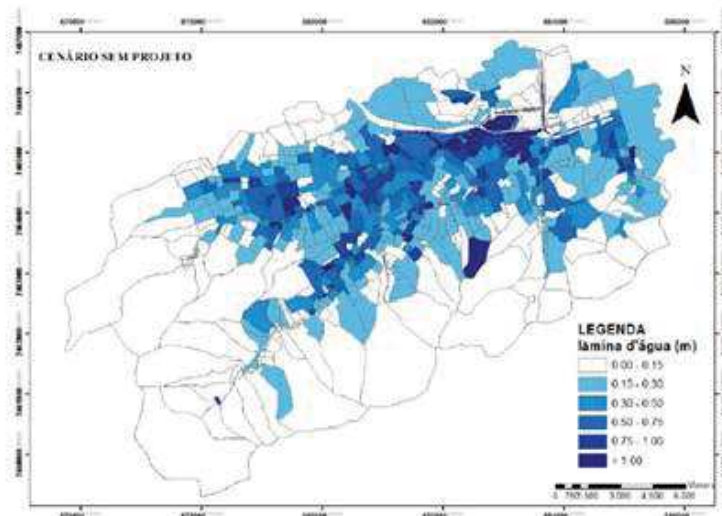
Figura 15: Esquema tridimensional do funcionamento de um jardim de chuva na calçada
Fonte: Adaptado de Philadelphia Water Department, 2014.

Buscando avaliar a resposta da bacia hidrográfica às inundações com as medidas propostas, foi realizada modelagem matemática, cujos resultados são apresentados na Figura 16 e na Figura 17. A comparação entre as manchas de inundação da Figura 16, permite concluir que, na escala da bacia, as medidas não tiveram influência na redução das lâminas de alagamento, como já era esperado. Somente quando é observada a escala do percurso (Figura 17), por sua vez, é possível constatar uma diferença, mesmo que bastante sutil, na mancha de alagamento, nas regiões destacadas em vermelho. Ainda que nos mapas não seja perceptível devido às faixas de valores utilizadas, as lâminas de alagamento tiveram uma pequena redução ao longo do percurso (uma média de 4 cm).

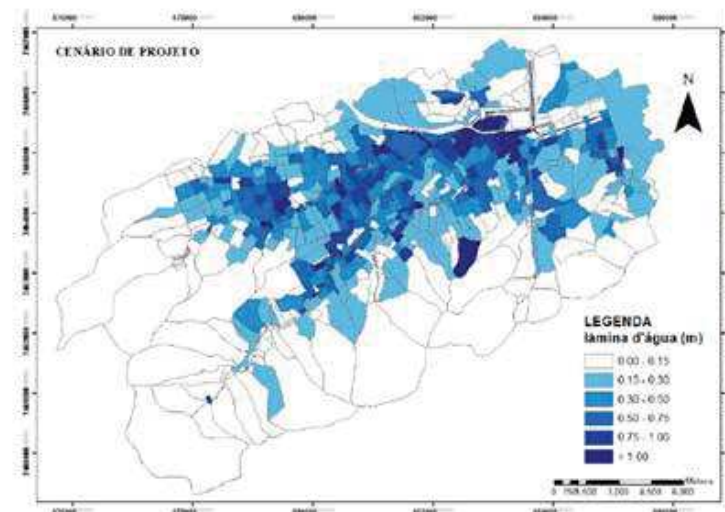
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho, buscou-se ressaltar a importância de integrar os sistemas de espaços livres com soluções de drenagem urbana sustentável. Nas cidades, com altos níveis de impermeabilização e pouca oportunidade de espaço para armazenamento de volumes de cheias, os espaços livres surgem como aliados fundamentais na aplicação de medidas distribuídas na bacia hidrográfica para redução de lâminas de alagamento e busca por características mais próximas do ciclo hidrológico natural.

A partir da definição de um percurso ao longo do Rio Maracanã, procurou-se exemplificar a aplicação de medidas de drenagem urbana sustentável no sistema de espaços livres existente. Con-



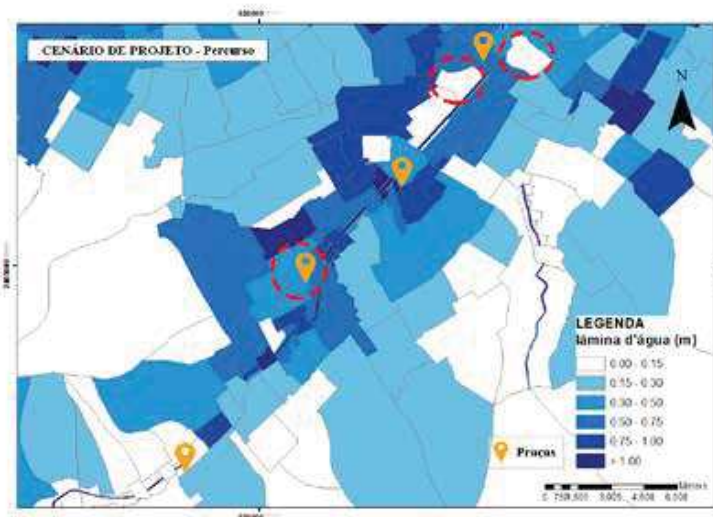
(a) Cenário sem Projeto - Bacia



(b) Cenário de Projeto - Bacia

Figura 16: Manchas de Inundação – Escala da Bacia

(a) Cenário sem Projeto – Percurso



(b) Cenário de Projeto - Percurso

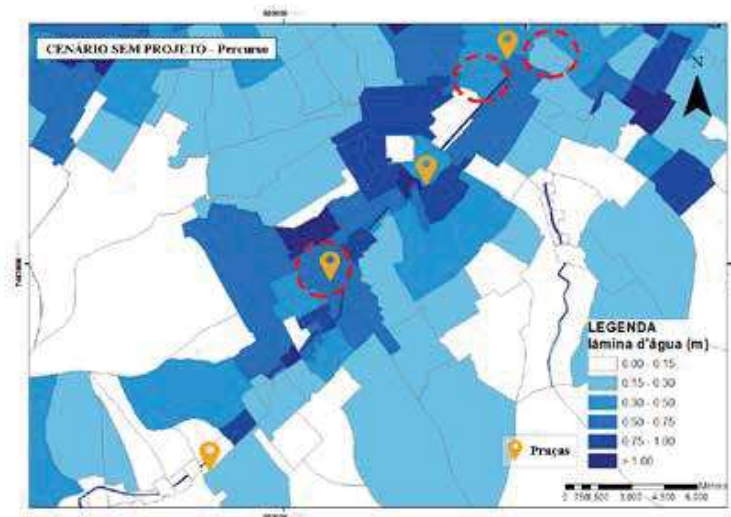


Figura 17: Manchas de Inundação – Escala do Percurso

forme era de se esperar, a aplicação das medidas pontuais, na escala do percurso, não interfere na resposta da bacia como um todo às inundações. Mesmo na escala do percurso, as medidas introduziram uma melhora bastante sutil nas lâminas de alagamento, com redução de poucos centímetros. Isso evidencia a importância de propostas de drenagem urbana sustentável serem distribuídas na escala da bacia hidrográfica e da mesma ser utilizada como unidade de planejamento.

É importante destacar também que foi verificada a resposta da bacia a um evento com tempo de recorrência de 25 anos, conforme indicado pelo Ministério das Cidades para projetos de macrodrenagem. No entanto, é de se esperar resultados melhores com a aplicação das medidas propostas para eventos mais frequentes, com tempo de recorrência de 10 anos, por exemplo, indicado pela Rio Águas para projetos de microdrenagem na cidade do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) e FCTH (Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica). *Projeto Técnico: Jardins de Chuva, Soluções para Cidades*. 2013. Disponível em: <http://solucoesparacidades.com.br/saneamento/4-projetos-saneamento/jardins-de-chuva/>. Acesso em: Dez. de 2017.
- AQUAFLUXUS. *Paisagens Multifuncionais*. 2011. Disponível em: <http://www.aquafluxus.com.br/paisagens-multifuncionais/>. Acesso em: Dezembro de 2017.
- ARAÚJO, P.; TUCCI, C.; GOLDENFUND, J. Avaliação da influência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 5, n. 3, p. 21-29, 2000.
- BRASIL, 2012, LEI Nº 12.651 DE 25 DE MAIO DE 2012, Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.
- CANHOLI, A. *Drenagem urbana e controle de enchentes*, Oficina de Textos, 2015.
- DUARTE, R. X. M. *Reservatórios de lote para drenagem urbana*. 2003. Trabalho final de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2003.
- JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND, J. *Cities and Flooding, A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*, Washington: The World Bank, 2012.
- LYNCH, K. *Image of the city*, Cambridge: MIT Press, 1960.
- MACEDO, S. S.; CUSTÓDIO, V.; GALLENDER, F.; QUEIROGA, E.; ROBBIA, F. Os sistemas de espaços livres e a constituição da esfera pública contemporânea no Brasil, In: TERRA, C.; ANDRADE, R., *Paisagens culturais*, v3. Rio de Janeiro: EBA-UFRJ, 2007, p. 286-297 (Coleção).
- MACEDO S. S.; QUEIROGA E. F.; GALLENDER F. C.; CAMPOS A. C. A.; CUSTÓDIO V.; DEGREAS H.; GONÇALVES F. M. Os Sistemas de Espaços Livres na Constituição da Forma Urbana Contemporânea no Brasil: Produção e Apropriação (QUAPÁ-SEL II). *Paisagem Ambiente. Ensaios*, n.30, p. 137 – 172, 2012.
- MAGNOLI, M. *Espaços livres e urbanização: Uma introdução a aspectos da paisagem metropolitana*, 1982, 116 f. Tese (Livre-docência) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.
- MAGNOLI, M., Em busca de “outros” espaços livres de edificação. *Paisagem e Ambiente: Ensaios*, n.21, p. 141-174, 2006.
- MASCARENHAS, F. C. B.; MIGUEZ, M. G. Urban flood control through a mathematical flow cell model. *Water Int.*, v. 27, n. 2, p. 208–218, 2002.
- MASCARENHAS, F. C. B.; TODA, K.; MIGUEZ, M. G.; INOUE, K. *Flood risk simulation*. WIT: Southampton, UK. 2005.
- MIGUEZ, M. G.; DI GREGORIO, L. T.; VERÓL, A. P. *Gestão de riscos e desastres hidrológicos*. 1ª Edição, Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.
- MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. *Drenagem Urbana: do Projeto Tradicional à Sustentabilidade*. 1ª Edição, Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.
- MIGUEZ, M. G.; BATTEMARCO, B. P.; DE SOUSA, M. M.; REZENDE, O. M.; VERÓL, A. P.; GUSMAROLI, G. Urban Flood Simulation Using MODCEL: An Alternative Quasi-2D Conceptual Model. *Water*, v. 9, n. 6, p. 445, 2017.
- PHILADELPHIA WATER DEPARTMENT. *City of Philadelphia Green Streets Design Manual*. 2014.
- POMPÊO, C. A. Drenagem Urbana Sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.5, n.1, 15-23, 2000.
- PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. *Plano Municipal de Saneamento Básico da Cidade do Rio de Janeiro – Drenagem e Manejo de Águas Pluviais*. 2015.
- REZENDE, O. M. *Integração de Ferramentas de Manejo das Águas Pluviais no Processo de Planejamento do Território para Redução dos Riscos de Inundação e Incremento da Resiliência das Cidades*, Tese (Doutorado) – Instituto Alberto Luiz Coimbra do Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- RIGHETTO, A. M. *Manejo de Águas Pluviais Urbanas*, Rio de Janeiro: ABES, 2009, 396p.
- RIO DE JANEIRO (Estado), 2010, DECRETO Nº 42.356 DE 16 DE MARÇO DE 2010, *Dispõe sobre o tratamento e a demarcação das faixas marginais de proteção nos processos de licenciamento ambiental e de emissões de autorizações ambientais no estado do Rio de Janeiro e dá outras providências*.
- SCHLEE, M. B.; NUNES, M. J.; REGO, A. Q.; RHEINGNTZ, P.; DIAS, M. A.; TÂNGARI, V. R. Sistema de Espaços Livres nas Cidades Brasileiras – Um Debate conceitual. *Paisagem e Ambiente: Ensaios*, n. 26, p. 225-247, 2009.
- URBONAS, B.; STAHR, P. *Stormwater Best Management Practices and Detention*, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1993, 450 p.
- VERÓL, A. P.; MIGUEZ, M. G.; YAMAMOTO, L. M. T.; BRITO, F. A.; FERNANDEZ, F. F.; BATTEMARCO, B. P.; REGO, A. Q. S. F. Guidelines for the Urbanization of Environmentally Sensitive Areas Subjected to Floods. LATIN AMERICAN CONFERENCE ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF ENERGY, WATER AND ENVIRONMENT SYSTEMS, 1., 2018, Rio de Janeiro, *Proceedings...* Rio de Janeiro, SDEWES, p. 1-19. 2018.
- WANG, M.; SWEETAPPLE, C.; FU, G.; FARMANI, R.; BUTLER, D. A framework to support decision making in the selection of sustainable drainage system design alternatives. *Journal of Environmental Management*, v. 201, p. 145-152, 2017.
- ZHOU, Q. A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts, *Water*, v. 6, n. 4, p. 976-992. 2014.

Bruna Peres Battemarco
 Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Engenharia Civil (PEC-COPPE).
 Av. Athos da Silveira Ramos, 149, Bloco I, 2º andar, Sala I-206 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro/RJ - Brasil, CEP: 21941-909.
 CV: <http://lattes.cnpq.br/9109113821733927>
 Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1388-4688>
 E-mail: brunabattermarco@poli.ufrj.br

Lilian Marie Tenório Yamamoto
 Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica.
 Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Cidade Universitária – Rio de Janeiro/RJ - Brasil, CEP: 21941-972.
 CV: <http://lattes.cnpq.br/9014992560807174>
 Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2350-3703>
 E-mail: lilian_yamamoto@poli.ufrj.br

Aline Pires Veról
 Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.
 Av. Pedro Calmon, 550, Sala 433 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro/RJ - Brasil, CEP: 21941-485.
 CV: <http://lattes.cnpq.br/7080639228518407>
 Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7793-1143>
 E-mail: alineverol@fau.ufrj.br

Andréa Queiroz Rego
 Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.
 Av. Pedro Calmon, 550, Sala 433 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro/RJ – Brasil, CEP: 21941-485
 CV: <http://lattes.cnpq.br/2843943597304391>
 Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3801-8017>
 E-mail: andreaqueirozrego@gmail.com

Virgínia Maria Nogueira de Vasconcellos
 Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.
 Av. Pedro Calmon, 550, Sala 433 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro/RJ – Brasil, CEP: 21941-485.
 CV: <http://lattes.cnpq.br/0243838029645765>
 Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0740-8474>
 E-mail: virginia.vasconcellos@gmail.com

Marcelo Gomes Miguez
 Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Engenharia Urbana (PEU/POLI), Programa de Engenharia Ambiental (PEA-POLI/EQ) e Programa de Engenharia Civil (PEC-COPPE).
 Av. Athos da Silveira Ramos, 149, Bloco I, 2º andar, Sala I-206 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro/RJ - Brasil, CEP: 21941-909.
 CV: <http://lattes.cnpq.br/3622226693741021>
 Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4206-4013>

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e Processo 1681776, assim como do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Processo 303240/2017-2.

Os autores agradecem a Gustavo Lennon da Silva, aluno de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro pela adaptação realizada em algumas das imagens apresentadas neste artigo.

Nota do editor:
 Revisão do texto: Autores
 Submetido em: 11/04/2018
 Aprovado em: 04/02/2019